

土中内部の浸食ポテンシャルの評価のための間隙径分布

中部大学工学部 正会員 杉井俊夫 余川弘至 浅野憲雄
中部大学大学院 学生員 ○朱 発瑜 小竹亮太

1. はじめに

浸透破壊におけるパイピング発生のトリガーや、またその拡大進行を伴う現象として内部浸食がある。さらに、この浸食現象は目詰まりや粒子流出を引き起こすことから、その安定性評価・発生予測には土塊としての力のつり合いではなく粒子レベルの安定性を考えることが必要となる。これに対し Kenney and Lau¹⁾の粒度分布を利用したフィルターの安定性指標は実験的に得られた浸食の可能性を評価したポテンシャル値として多用されてきたが粗密については考えられてきていなかった。そこで、地盤試料の粗密を考慮した内部浸食ポテンシャル評価のための間隙径分布を検討した。

2. Kenney らの内部安定性指標 (Internal Erosion)

Kenney ら¹⁾は浸透長さ(層厚)が D_5 の 200 倍以上あると、連続する間隙径は最小粒径の約 1/4 倍に等しくなることをもとめ、図 1 に示すような粒度のフィルター材が内部浸食を起こさないための粒度条件を示した。対象となる粒径の 4 倍、粒径 $4D$ の質量含有率 (H) が、粒径 D の通過質量百分率 (F) 以上存在する必要があることを示している。具体的には「 $H/F \geq 1$ 」のときは安定、「 $H/F < 1$ 」のときは不安定と判断する指標を提案した (H/F の閾値当初は 1.3 としていたが、その後 1.0 に変更されている)。この $4D$ の粒子質量含有率が作る間隙の大きさは図 2 のような層を通過する粒径の最大値 Controlling Constriction Size (最大間隙くびれ径) から求められている。しかし、この指標は図 1 からわかるように粒度分布のみで間隙率(粗密)については考慮されておらず、Kenney¹⁾によれば最も密な状態に対する指標である。そこで本研究は水分特性曲線から求められる間隙径分布を用いることを考えた。

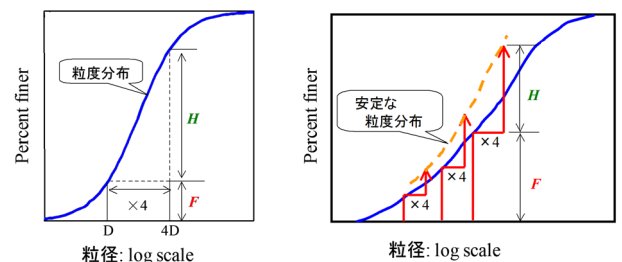


図 1(a) H と F の定義 図 1(b) 粒度分布と H/F

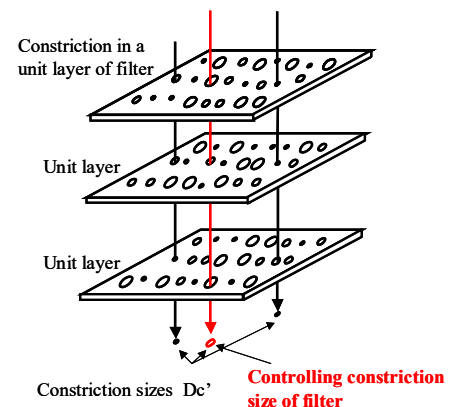


図 2 Controlling Constriction Size

3. 水分法による間隙径分布の評価

神谷²⁾は、間隙径分布を求める ASTM で基準化された水銀圧入法や水分特性曲線を用いた方法(以後:水分法)と新たな空気圧入法から、粒度分布と間隙径分布の関係を様々な観点から調べ、質量基準の粒度分布とによる間隙径分布は形状が類似していることを示している。また Harverkamp³⁾によれば水分法の関係係 d_m と質量粒度の粒径 D の間には次式の関係が成立するとしている。

$$d_m = \beta_r D \quad (1)$$

ここに、 β_r は、試料の状態により決まる定数である。

式(2)は水分法による間隙径の算出式となり、排水過程の水分特性曲線 van Genuchten⁴⁾式のサクション項(間隙水圧)に毛管上昇高の関係式(3)を用いて間隙径分布を求めることができる。

$$(2) \quad d_m = \frac{4\sigma}{\rho_w g |h_p|} \quad (3) \quad Vr = \left[1 + \left(\alpha \frac{4\sigma}{\rho_w g d_m} \cdot 10 \right)^{n^*} \right]^{-1 + \frac{1}{n^*}} \times 10^2$$

ここに、 h_p は負の間隙水圧、 Vr は累積間隙体積、 α 、 n^* は van Genuchten モデルのフィッティングパラメータ、 ρ_w は水の密度(g/cm^3)、 g は重力加速度(cm/s^2)、 σ は水の表面張力(水温 15°C のとき 3.48 dyn/cm)である。

4. 水分法による間隙径分布と Kenney らの間隙くびれ径の関係

図3の加圧型保水性試験装置を用いて豊浦砂の保水性試験を実施し、得られた水分特性曲線および van Genuchten モデル⁴⁾(VG-model)を図4に示す。本水分特性曲線(SWCC)は排水過程で得られたものである。これより、式(2)および式(3)を用いて間隙径分布を推定し、図5に示した。また、別途本研究室で行った水銀圧入法によって求められた間隙径分布をも合わせて示す。この結果から水分法と水銀圧入法による間隙径分布とは全く異なる。これは、水銀圧入法は、粒子形状の凹凸など細部までの間隙を評価しているためである。一方、水分法は神谷が示したように粒度分布の形状と類似しており、粒度分布を小さくスライドした形になっていることがわかる。また図5から、Kenney らの安定指標を考える上での着目する粒径Dの4倍粒径(4D)の質量含有率(H)を粒径Dで考えると破線のように粒度分布を4分の1(0.25倍)にスライドさせることになる。この破線を「間隙くびれ径分布」とすると水分法による間隙径分布と非常に近いことがわかる。その誤差は、Kenney らの安定指標を提案している乾燥密度は最も密な相対密度 $Dr=100\%$ 状態であるため、「間隙くびれ径」と水分法による間隙径分布の相対密度の差によるものと考えられる。乾燥密度(相対密度 Dr)が大きくなるほど、Kenney らの間隙くびれ径の分布に近くなることから、この結果から推察できる。両者が一致してくる理由は、図2で示すように Kenney らは層を通過する最大のくびれの径を意味しており、排水過程の水分特性曲線から得られる径は毛管圧から算出されるために図6の毛管圧の細くなってくびれ径に対応すると考えられ、両者の値は等しくなると考えられる。

5. おわりに

相対密度が高くなるほど Kenney らの「間隙くびれ径」の値に近くなることから、水分法による間隙径分布を「間隙くびれ径分布」としてみなすことで、相対密度が変化する場合の安定指標 H/F を求めることができるものと考えられる。また、本方法が適用できれば粒径と相対密度で粒子移動の不安定性の評価が可能になると考えられ、今後、他の試料についても計測を実施する予定である。

【参考文献】

- 1) Kenney T.C. and Lau D. :Internal stability of granular filters. Canadian Geotech. J. 22, pp.215-222, 1985.
- 2) 神谷浩二:砂質土の間隙径分布の評価とその利用 岐阜大学学位論文, pp.34-62, 1998.
- 3) Haverkamp R, Parlange J.Y. : Predicting the water-retention curve from a particle- size distribution 1. Sandy soils without organic matter, Soil Science, 142, 1986, pp.325-339.
- 4) Jvan Genuchten, M.Th. : A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils, Soil Sci. Soc. Am.J., 44,892-899, 1980.

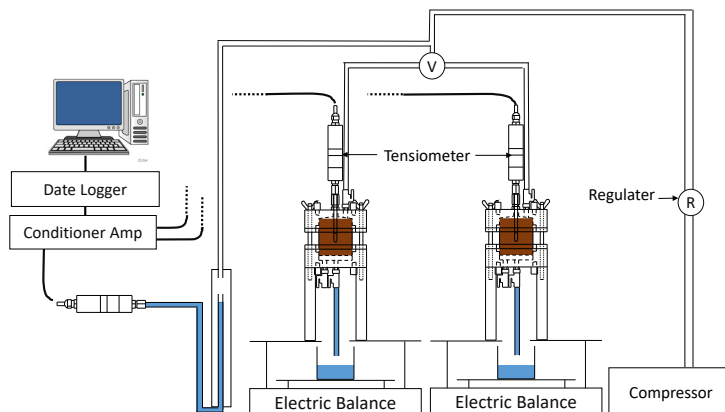


図3 2連式保水性試験装置

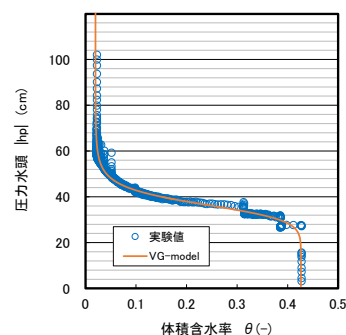


図4 保水性試験結果と SWCC

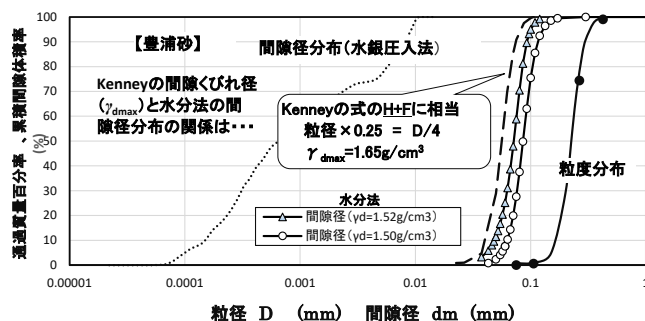


図5 2つの間隙径分布と粒度分布の関係

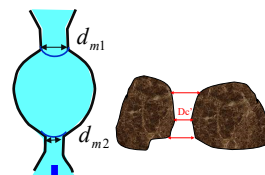


図6 くびれ径